

21811 希薄炭化水素：空気混合気の燃焼特性に及ぼす雰囲気湿度の影響について(第2報)(熱工学(1))

川上, 忠重 / KAWAKAMI, Tadashige / 柴田, 洋輔 / SHIBATA, Yosuke

(出版者 / Publisher)

日本機械学会関東支部

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

日本機械学会関東支部総会講演会講演論文集 / 日本機械学会関東支部総会講演会講演論文集

(号 / Number)

13

(開始ページ / Start Page)

521

(終了ページ / End Page)

522

(発行年 / Year)

2007-03-15

21811 希薄炭化水素-空気混合気の燃焼特性に及ぼす

雰囲気湿度の影響について (第2報)

Influence of atmosphere humidity on combustion characteristics
for lean hydrocarbon-air mixtures

○学 柴田 洋輔 (法大院) 正 川上 忠重 (法大工)

Yosuke Shibata Faculty of Engineering Hosei University, Kajino-cho 3-7-2, Koganei, Tokyo

Tadashige Kawakami Faculty of Engineering Hosei University, Kajino-cho 3-7-2, Koganei, Tokyo

In practical internal combustion engines, where it is very important to achieve the low emissions ($\text{CO}_2, \text{NO}_x, \text{SO}_x$). It is well known that the lean burn is very useful method to reduce the emissions by control of flame temperature. Therefore, in this study, at low oxygen concentration high humidity mixture was used for flame temperature reduction. Experiments have been carried out with lean propane-air mixtures to examine the influence of oxygen concentration under high-humidity air and dry air conditions on flame shape and flame speed in a combustion tube. The experimental results in this study are as follows. : (1) Under low oxygen concentration, the addition of steam is very effective to increase the flame speed. (2) Influence of atmosphere humidity on flame speed depends on a fuel property.

Key Words : Flame speed, Humidity, Low oxygen concentration

1. 緒論

近年、ガスタービン、内燃機関等、燃焼機器を対象とした燃焼生成物に対する規制は、年々著しく厳しくなっており、特に、内燃機関においては、排出ガス規制対象として、 NO_x 、 CO_2 、 CO 、 HC 及び PM 等がある。低エミッション化には、希薄燃焼や EGR (排気ガス再循環) を用いた燃焼温度低減手法及び三元触媒を用いた後処理手法を組み合わせることが有効であることが知られているが、特に希薄燃焼は省エネルギーや NO_x 排出量等の低減に有効である。^{1,2)} しかしながら、燃焼温度低減による手法を用いた場合には、着火性の低下、火炎伝播の不安定性、有効仕事の減少などを検討する必要がある。

そこで本研究では、有効仕事を低減させることなくサーマル NO_x の発生を抑制させる指針を得るために、まず手始めとして管内進行火炎伝播法を用いて、希薄混合気中に水蒸気を添加し、雰囲気湿度が燃焼特性に及ぼす影響を、燃焼挙動を観察することにより検討を行った。

2. 実験装置及び実験方法

Fig.1 に、本研究における実験装置の概略図を示す。本体は主に、燃焼管、点火装置、冷却管、電熱器、バッテリー、流量計、タイマー及びスイッチで構成されている。燃焼管は、内径 70mm、全長 330mm の円筒形であり、その内容積は約 1270 cm^3 である。また、冷却管は、内径 50mm、全長 130mm の円筒形で、内部にはガラスビーズを充填させ表面積を増大させることにより、管内を通過する高温蒸気を含んだ気体の温度を室温まで低下させることができる。実験は、室温・大気圧下で行い、使用した燃料は純度 99.9% のプロパン及びメタンである。本研究では、湿度を 0%RH~100%RH まで 20%RH 刻みとし、各湿度の設定には高湿度空気混合気 (湿度 100%RH) と、乾燥空気混合気 (湿度 0%RH) の混合割合を調整することによって行った。なお、高湿度空気混合気 (湿度 100%RH) を作成する場合には、電熱器で予め水を沸騰させ、そこで作成した水蒸気を空気と混合させた後、冷却管を通してから燃焼管に導入した。また当量比は 0.55 から、0.05 刻みで行い、希薄側可燃限界近傍では 0.025 刻みで行った。酸素濃度は 21vol%、19vol%、17vol% とした。実験に際して、設定した当量比、酸素濃度になるよう、燃料、空気、窒素を燃焼管に導入する。その後、一定時間 (15 分間) 分子混合させ、ニクロム線による熱面点火を行う。それにより発生した火炎伝播挙動をデジタルビデオカメラにより撮影し、キャプチャーボードを用いて PC に取り込み、その映像から単位時間あたりの移動距離を計測することにより、火炎伝播速度を算出した。データのプロット点を求める際 10 回以上の実験を行い、その算術平均値を用いた。

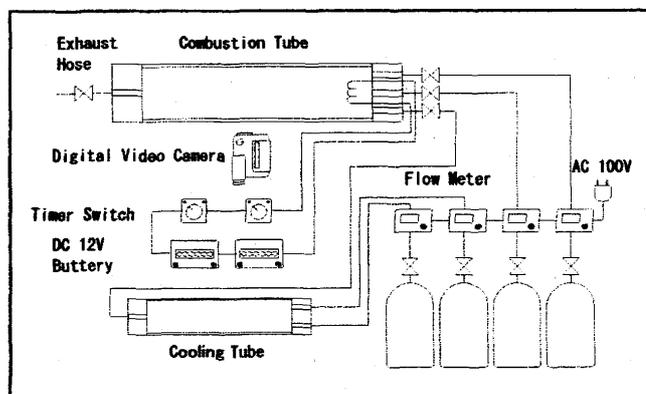


Fig.1 Experimental Apparatus

3. 実験結果及び考察

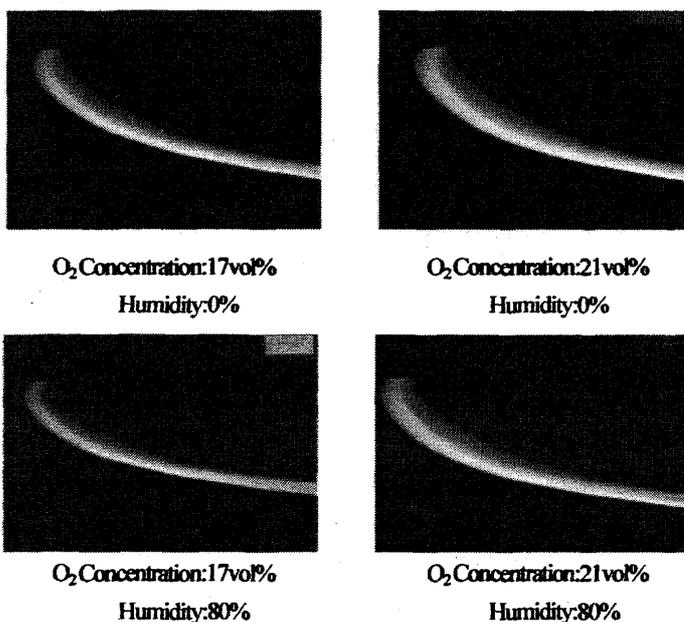
Fig.2 Flame Shape
(Propane-Air : $\phi=0.5$)

Fig. 2 に、各雰囲気酸素濃度及び湿度における当量比 $\phi=0.5$ での火炎伝播挙動の代表例を示す。この図から明らかなように、混合気中に含まれている湿度の割合が同等な場合には、酸素濃度の低いほうが火炎発光部輝度に減少が見られる。一方、同一酸素濃度においては、水蒸気を添加した場合においても、火炎発光部輝度の著しい減少は見られない。これにより、水蒸気を添加した場合よりも、雰囲気酸素濃度を減少させた場合の方が、火炎発光部輝度減少に対する影響が顕著であることがわかる。また、火炎は浮力の影響により、火炎先端が著しく上方に持ち上げられながら伝播していることがわかる。

Fig. 3 に酸素濃度 21vol% におけるプロパン—空気混合気の火炎伝播速度を、雰囲気湿度をパラメータとして示す。この図から明らかなように、どの雰囲気湿度においても、当量比の希薄側への移行に伴って火炎伝播速度は、単調に減少し、また各当量比での水蒸気添加による著しい火炎伝播の減少は観察されなかった。本研究では、併せて雰囲気酸素濃度 21vol% におけるプロパン—空気混合気各当量比での断熱火炎温度(化学平衡計算による)を算出したところ、雰囲気湿度 0%RH ~ 100%RH での差異は、最大でも 80K 程度であったため、これは、火炎温度の影響によるものと考えられる。

つぎに、火炎温度を低下させた場合の火炎伝播速度におよぼす雰囲気湿度の影響を検討するために、雰囲気酸素濃度 17vol% の場合のプロパン—空気混合気の当量比に対する火炎伝播速度を、雰囲気湿度をパラメータとして Fig. 4 に示す。この図から明らかなように、雰囲気酸素濃度 17vol% においては、どの当量比においても水蒸気添加による火炎伝播速度の増大、すなわち、燃焼促進効果が観察された。特に当量比 0.5、湿度 20%RH においては、乾燥空気をういた場合と比較して、30%程度火炎伝播速度が増加しており、燃焼工学的にも非常に興味深い。これは、火炎温度が低下している場合には、反応可能な活性種が著しく不足しているが、最適な量の水蒸気を添加することにより、OH、CH 等の反応基が著しく増大したためと考えられる。³⁾ なお、メタンにおいては水蒸気添加による火炎伝播速度の増大はほとんど観察されなかった。

Fig. 5 に、当量比に対する火炎伝播速度比を、雰囲気湿度(0%RH ~ 60%RH) をパラメータとして示す。ここでの火炎伝播速度比とは、同一当量比における雰囲気酸素濃度 17vol% での火炎伝播速度を雰囲気酸素濃度 21vol% での火炎伝播速度で除した値と定義した。この図から明らかなように、本実験範囲内では、低雰囲気湿度 20%RH、40%RH、60%RH において、どの当量比においても、火炎伝播速度比の減少割合が、雰囲気湿度 0%RH よりも 10%程度減少しており、明らかに希薄領域における水蒸気添加による燃焼促進効果を示した結果となっている。これは、希薄燃焼をういた場合には、ある程度の火炎温度が維持しうる燃焼条件では、水蒸気添加によるラジカル発生によるものと考えられるが、今後より高温・高圧下における低酸素雰囲気での検討を詳細に行う予定である。

4. 結論

本研究では、管内進行火炎伝播法を用いて炭化水素—空気混合気の燃焼特性に及ぼす、雰囲気湿度・雰囲気酸素濃度の影響について検討を行った。以下に結果を示す。

- 1) 低酸素雰囲気中においては、火炎伝播速度の増加に水蒸気添加は極めて有効である。
- 2) 火炎伝播速度に及ぼす雰囲気湿度の影響は、燃料性状に依存する。

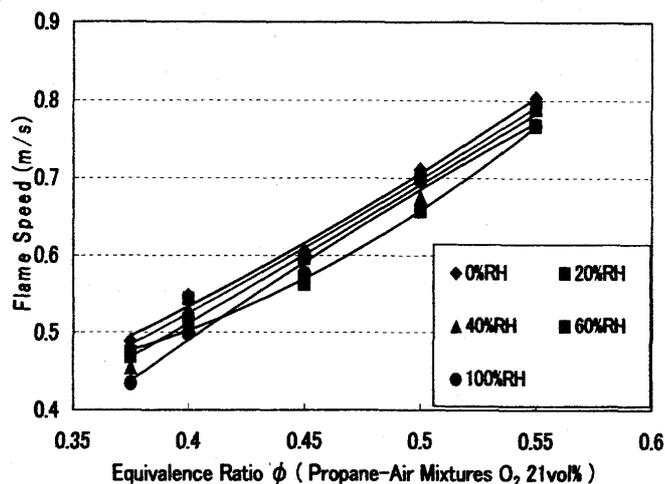


Fig.3 Flame Speed of Propane (21 vol% : Oxygen Concentration)

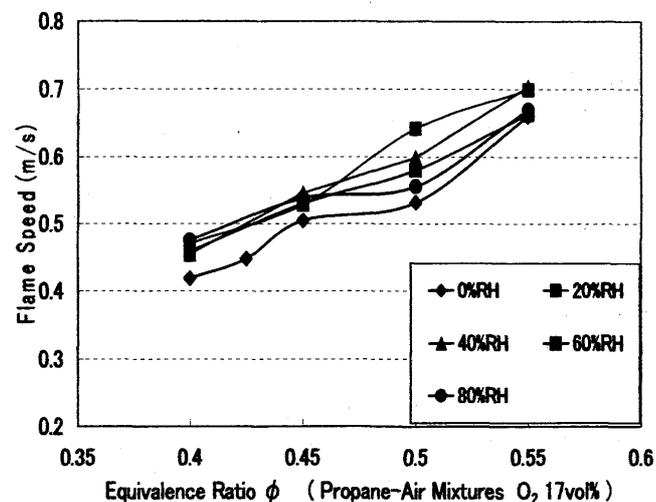


Fig.4 Flame Speed of Propane (17 vol% : Oxygen Concentration)

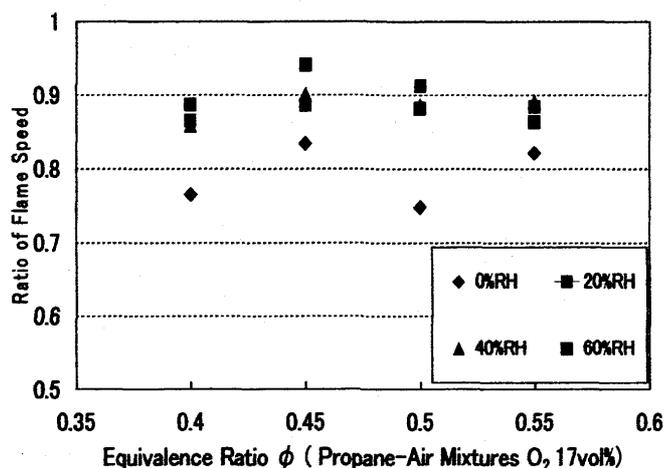


Fig.5 Ratio of Flame Speed

参考文献

- 1) Kawakami, T., Okajima, S., Satoh, J and Sakuraya, T Trans. Japan Soc. Mech Eng. 67-656. pp. 1073-1077 (2001)
- 2) 新岡嵩ら、燃焼現象の基礎、(2001)、オーム社
- 3) R. Seiser, L. Truett, D. Trees, K. Seshadri, Proc. Combust. Inst. 30 (2005) pp. 407-414